

A trágyázás és a környezetszennyezés összefüggései a Rothamsted-i tartamkísérletek tükrében

A Rothamsted-i iskola jellemzője, Lawes és Gilbert alapítók nyomdokain haladva, a precíz, ellenőrzött kísérleti tényekhez való ragaszkodás. A kísérletek immár 150 éves múltra tekintenek vissza, melyek adataira támaszkodva formálódnak a nézetek és készülnek a szaktanácsadási javaslatok a gyakorlat számára.

Talán nem lesz haszontalan áttekintést adni azokról a főbb eredményekről és véleményekről, melyek napjaink magyar szakköréit is foglalkoztatják. Különösen szerény tapasztalatokkal rendelkezünk a trágyázás környezetvédelmi aspektusait illetően. E téren fennálló bizonytalanságainkat csökkentheti az előtünk járó, kiérleltebb angol tapasztalat kritikus átvétele. Az alábbiakban főként COOKE (1971, 1973, 1976, 1981, 1984) áttekintő munkáira támaszkodunk, akinek munkássága e kutatások mintegy fél évszázadát fémjelezte.

Mi történik a talajba vitt műtrágyákkal és mennyiben talajszennyezőek?

A műtrágyák ugyanazon főbb tápionokat tartalmazzák (nitrát, foszfát, szulfát anionok, valamint kálium, kalcium, ammónium, magnézium stb. kationok), melyek a természetes talajban is megtalálhatók. A műtrágyák megnövelik a talaj iontartalmát abból a célból, hogy kielégítő terméseket kapjunk. A túltrágyázás azonban pocsékoláson túl szennyezést is jelenthet. A N fölöslege könnyen

kimosódik, míg a foszfor és kálium a legtöbb talajban felhalmozódik és a soron következő kultúra számára hasznosulhat. A Ca és Mg szintén könnyen távozhat, pótlásuk rendszeressé válik a savanyú homokokon.

Az esszenciális mikroelemek közül főként a Zn, Cu, B, Mo túladagolása veszélyeztetheti a talaj termékenységét, míg angliai viszonyok között a Fe és Mn illetően negatív hatása kevésbé jelentkezett. A mikroelem trágyákat indokolatlanul nem szabad alkalmazni, tehát rutinszerűen és vakon "csodakeverékeket" felhasználni felesleges a gazdáknak. Hasonló beavatkozásokra csak a talaj- és növényelemezéseket, kísérleti próbákat követően kerüljön sor. A fentiekből adódóan a szennyvíziszapok és ipari hulladékok trágyaszerként történő felhasználása is előzetes ellenőrzést igényel. A növényvédő szerek rendszeres alkalmazásával is felhalmozódhatnak nehézfémek a talajban (Zn, Cu, stb.), melyek a talajéletre negatív hatást gyakorolhatnak.

A műtrágyák egyszerű vagy komplex sóknak tekinthetők, melyekben szükséges és nem vagy kevésbé szükséges ionok fordulnak elő. Bizonyos talajokon egyes növényfajok meghalálják pl. a Na-, Cl-, SO₄-trágyázást. Másutt ezek nemkívánatos összetevői a műtrágyáknak és talajszennyezőknek minősülhetnek. A csapadékkal is azonban hasonló nagyságrendben jutnak az angol talajokba. A Na, Cl, S terhelés elérheti a 17-40 kg/ha/év mennyiséget, mely megközelíti a műtrágyákkal bevitt értékeket (1. táblázat).

1. táblázat

A csapadék átlagos összetétele és tápelemhozama 1969-1973 között
három kísérleti helyen Angliában

Elem jele	Rothamsted	Saxmundham	Woburn	Átlagos hozam kg/ha/év
	mg/liter			
SO ₄ -S	3,3	3,3	2,6	19
NH ₄ -N	1,7	1,8	1,2	10
NO ₃ -N	1,1	1,2	0,9	7
PO ₄ -P	0,13	0,02	0,03	0,3
Cl	5,9	8,8	4,6	39
Na	1,9	4,4	1,6	17
Ca	1,8	1,6	1,5	12
Mg	0,41	0,67	0,30	9
K	0,72	0,55	0,39	3

Rothamsted: agyagos vályog (London mellett); Saxmundham: homokos vályog (Délkeleti parton);
Woburn: homokos vályog, podzol (Londontól É-ra 70 km-re)

2. táblázat

Drenázs vizek összetétele különböző termőhelyeken 1968-1974 között (mg/l)

Elem jele	Saxmundham, 1973-1974		Saxmundham	Woburn
	Szántó	Gyep	1968-1970 között	
SO ₄ -S	81	54	60	49
NH ₄ -N	22	4	12	22
NO ₃ -N	0,6	0,6	0,12	0,06
PO ₄ -P	0,02	0,01	0,02	0,01
Ca	215	108	171	156
Cl	137	35	44	26
Na	22	22	20	14
Mg	9	7	9	9
K	1,2	0,9	1,4	2,0

A mobilis ionok fölöslegét a kilúgzó víz szállítja el alapvetően a talajokból, amennyiben a csapadék mennyisége meghaladja a párolgást és a vízfölösleg áthalad a talajprofilon. A 2. táblázat két-éves eredményeket mutat be. A vizsgálati helyeken az éves csapadék 620 mm körüli és intenzíven műtrágyázott szán-

tóföldi növénytermesztés folyik. Az evaporáció azonban nem haladja meg az évi 500 mm-t. Amint az adatokból látható, a kilúgzó víz nagymennyiségű Ca-, Cl- és SO₄-iont visz magával. Mivel a víz pH értéke 7 körüli, a negatív töltésű ionokat (és a bikarbonátot) a Ca-, Na- és K-kationok kísérik.

Üvegházi öntözéses termesztésben az elemforgalom általában nagyobb, mint szántóföldön. A tápanyagokat, műtrágyákat túlادagolják és így a sóterhelés, valamint a sókilúgzás is kifejezettebb. Egy angol kísérletben minden 100.000 liter/ha (10 mm körüli) vízmennyiség 7-10 kg N, 6-7 kg K, 33-38 kg Ca és 4-6 kg Mg-veszteséget okozott hektárra számítva. A vegetációs időszak alatt pl. 70 kg/ha N-veszteség jelentkezett, míg 3 év alatt összesen 569 kg N, 1911 kg Ca és 201 kg Mg mosódott ki a talajból hektáronként. A trágyák hatékonyságának növelésére itt különösen nagy tartalékokkal rendelkezünk.

Amikor a mozgékony anionok feleslegének kilúgzása jelentős a talajban, nő a kationok vesztesége, mint láttuk főleg a Ca-ionoké. A talajok egy része Ca-ban elszegényedhet és elsavanyodhat. Különösen az ammónium-szulfát savanyíthat erősen, mert a képződő NO_3 mellett az SO_4 is megjelenik. A KCl és a K_2SO_4 -sók Cl- és SO_4 -ionjai hasonlóképpen viselkednek.

A kilúgzás mértéke függ az átszivárgó víz mennyiségétől és összetételétől. Olyan évben például, amikor a csapadék feleslege a párolgást 200 mm-rel haladja meg és ez a felesleg átszivárog a talajon, a víz összetétele pedig a 2. táblázatban közölteknek felel meg, a számított veszteség az alábbi mennyiségeket jelentheti kg/ha-ban:

	Saxmundham	Woburn
Ca	340	310
$\text{SO}_4\text{-S}$	120	98
Cl	88	52
Na	40	28
$\text{NO}_3\text{-N}$	24	44
Mg	17	18
K	3	4
P	0,04	0,02

Az országos tápelemforgalom és tanulmányai Angliában

A 3. táblázat áttekintést nyújt az Egyesült Királyság NPK mérlegéről. A szerző megbecsülte a felső 20 cm talajréteg összes tápelemkészletét, a növényben, műtrágyákban, import takarmányokban és az állati ürülékben foglalt NPK mennyiségét. Amint a táblázatokból kitűnik, a tápanyagforrások N- és P-tartalma lényegesen meghaladta 1973-ban a növényi felvételt (a foszfor mintegy kétszeresen), viszont a K mérlege jelentős negatívummal zárult. A szerző nem tér ki a talajba részben szintén visszakerülő melléktermékekre. Ezek figyelembevételével természetesen a K mérlege is pozitívvá válik.

A műtrágyázás kezdetei, azaz 1837 óta felhasznált összes NPK mennyiségét a 4. táblázat foglalja össze. A 130 év (napjainkig 150 év) alatt felhasznált P nagyobb része a talajban akkumulálódott és becslések szerint a szántók talajának összes P készlete a felső rétegben mintegy 50 %-kal emelkedett. Az összes K mennyisége a mérleg egyenlegei szerint nem változhatott érdemben, így ezen elem talajszennyezőként nem jelentkezik. Az összes N megítélése eltérő megközelítést igényel, mert főként a talaj szerves anyagához kötődik. Elsősorban a talaj mozgékony $\text{NO}_3\text{-N}$ frakcióit, valamint a N-műtrágyák talajsavanyító hatását kell figyelemmel kísérnünk. Általánosan elfogadott vélemények szerint a trágyaként felhasznált összes N-tartalomnak mintegy fele hasznosulhat a növényi felvétellel, a maradék döntően a kilúgzás és a denitrifikáció során veszendőbe megy.

3. táblázat
Az Egyesült Királyság NPK-forgalma 1973-ban
(1000 tonnában és elemben kifejezve)

Mérleg tételei és a talaj készlete	N	P	K
A talaj 20 cm rétegében	100.000	35.000	450.000
Növényben	1.550	230	1.300
Műtrágyákban	930	210	345
Import takarmányokban	200	60	60
Állati ürülékben	840	198	690
Összes tápelemforrásban	1.970	468	1.095
Egyenleg (Adott-felvett)	+ 420	+ 238	- 205

4. táblázat
Műtrágyákkal talajba juttatott NPK kumulatív mennyisége 1837-1972
között Angliában, millió t

Elem	1837-1939	1940-1957	1958-1972	1837-1972
N	3,5	3,5	9,1	16,1
P	4,9	2,7	3,0	10,6
K	1,2	2,6	5,3	9,1

A Rothamsted-i "Klasszikus Kísérletek"

A Rothamsted-i Kísérleti Állomás London mellett létesült 1843-ban Lawes birtokán. A kísérleti munkák irányítását Liebig egyik tanítványa Gilbert végezte. Az 1843-1856 között beállított kilenc szabadföldi tartamkísérletből nyolc többé-kevésbé változatlan formában ma is fennáll "Rothamsted Classical Experiments" néven. Az ammónium sók talajra gyakorolt hatását a Broadbalk kísérletben vizsgálják a legrégebben. Az enyhén meszes, homokos vályog termőhelyen 1843 óta folyik rendszeresen ammon-szulfát-trágyázás 0-144 kg N/ha adaggal.

A becslések szerint a maximális adagú kezelésben 900-1100 kg/ha CaCO_3 -

veszteség állhat elő évenként. Az első 100 év után (1944-ben) a feltalaj hatalmas CaCO_3 -készlete eltűnt, a parcellák helyenként elsavanyodtak és meszeztést igényeltek. A talajvizsgálatok eredményeiről az 5. táblázat adatai nyújtanak információt. Hasonló jelenséget figyeltek meg a Woburn kísérletben, ahol az ammon-szulfát-kezelést 1888-ban iktatták be, szintén homokos vályog talajon. A talaj 1920-ig oly mértékben elsavanyodott, hogy a búza és az árpa termesztése bizonytalanná vált. Miután meszezéssel és Mg-trágyázással helyreállították a talaj termékenységét, az említett növények újra sikerrel termesztethők.

Az 5. táblázat adataiból az is kitűnik, hogy a N-trágyázás jelentéktelen hatást

5. táblázat

A rothamstedi Broadbalk kísérlet talajvizsgálati eredményei a száz évet meghaladó trágyázást követően

Kezelés évente	N kg/ha/év	CaCO ₃ %	Összes N, %	Összes C, %	Össz.-P	Olsen-P mg/kg	Kics.-K
Istálló- trágya	0	2,0	0,236	2,58	1214	97	652
Ø	0	2,4	0,106	1,09	580	8	102
PK-Na-Mg	0	1,7	0,105	1,00	1084	80	364
PK-Na-Mg	48	1,2	0,112	1,07	1079	88	368
PK-Na-Mg	96	0,8	0,121	1,19	1052	88	341
PK-Na-Mg	144	0,5	0,123	1,19	1119	81	295

Istállótrágya = 35 t/ha;

P = 73 kg P₂O₅/ha (Szuperfoszfát); K = 110 kg K₂O /ha (K-szulfát);

Na = 16 kg Na-ha (Na-szulfát) ; Mg = 11 kg Mg/ha (Mg-szulfát)

N = 0 - 144 kg N/ha ((NH₄)₂SO₄)

6. táblázat

A rothamstedi Park Grass gyepkísérlet összes és oldható P-tartalmának változása a talajszelvényben 100 évet meghaladó trágyázás után

Mélység mm-ben	Trágyázatlan kontroll		33 kg/ha/év P-trágyázás	
	Meszezetlen	Meszezett	Meszezetlen	Meszezett
<i>mg/kg összes-P</i>				
0 - 225	490	570	1360	1230
225 - 300	450	600	910	770
300 - 375	410	480	870	690
375 - 450	390	450	540	580
<i>mg/l 0,01 M CaCl₂-oldható P</i>				
0 - 225	0,4-5,2	1,8	4,7-15,0	31,0
225 - 300	0,2	0,3	1,6	0,6
300 - 375	0,1	0,2	0,6	0,2
375 - 450	0,3	0,1	0,2	0,3

gyakorolt az összes N és C %-ára a fel-talajban. A nagyobb adagú N-kezelések-ben mindössze $\frac{1}{8}$ -dal található több C, mint a kontrollon. Broadbalkon elemre átszámítva 34 kg P és 90 kg K volt az évi trágyaadag ha-onként 1843 óta. Ez a mű-trágyában adott PK "terhelés" nem járt negatív következményekkel a talajra, el-savanyodás nem következett be. Ezzel szemben mind az összes, mind az oldha-tó P, valamint a kicserélhető K mennyi-sége megnőtt. A kezelt parcellák talajai ma igen jól ellátottak felvehető P-ban, ill. jól ellátottak K-ban. A PK-ellátottság meghaladja a kívánatos elérendő szintet a kalászosokra, de ez a túlkínálat sem-milyen káros hatást nem okoz a nö-vényekre.

A Rothamsted-i tartamkísérletek ada-taiból szintén megállapítható, hogy a PK döntően a feltalajban halmozódik fel. Kevés tápelem jut a mélyebb rétegekbe. A vertikális transzport, a P-kilúgzás meg-nőhet azonban, amennyiben szerves trá-gyák formájában juttatjuk ki azokat; a talaj szervesanyag-tartalma magas (gye-pek alatt); vagy rendszeresen nagy adagú trágyázással a talaj P-adszorpciós ka-pacitása telítődik. Az eddigi vizsgálatok szerint a P-akkumuláció mintegy 0,4 m mélységig volt bizonyíthatóan kimutat-ható szántón, ill. 0,5 m mélységet meg-haladóan gyepeken. Úgy tűnik tehát, hogy érdemi P-kilúgzással nem kell szá-molnunk. A P-terhelés hozzájárul azon-ban az élővizek eutrofizációjához ezért a P-kilúgzás jelenségét részletesebben kell vizsgálnunk.

A rendszeresen trágyázott, művelt te-rületek drenázs vizeiben általában 0,02-0,05 mg P/l koncentrációkat mérünk. A talajoldat P-tartalma 0,1 mg/l alatti, rit-kán haladja meg az 1 mg/l értéket. A hol-land adatok szerint, jegyzi meg Cooke, az évi P-kilúgzás mezőgazdaságilag hasznosított területeken 0,25 kg P/ha mennyiségre tehető. Kalifornia és USA más részeiben az öntözött rizs talajokon

0,53 kg körüli P/ha terhelést regisztrál-tak. Anglia is rendelkezik hasonló mérési eredményekkel. Ez a kilúgzási veszteség a P-forgalomhoz viszonyítva elenyésző-nek tűnik, de hosszú időn át jelentőssé válhat mind a vizek tápanyagdúsulása, mind a természetes talajok elszegénye-dése tekintetében.

Az összes P kis része jelenik meg a talajoldatban, ebből adódóan a kilúgzás is kicsi. Amennyiben pl. 0,2 mg/l a talaj-oldat P-koncentrációja és az átszivárgó víz mennyisége 510 mm, 1 kg P/ha kö-rüli veszteség állhat elő. Amennyiben a teljes átszivárgó vízmennyiség egyen-súlyban volt a talajjal. Ez a gyakorlatban nehezen elképzelhető. Másrésztől hason-ló 0,2 ppm körüli P-koncentráció a ter-mészetes folyóvizekben előfordult a mű-trágyázás előtti időkben is, a talajképző (ill. tőfenék) közettől függően. A műtrá-gya-P kölcsönhatásba lép a talajjal és kicsapódik főként Ca-foszfátok formá-jában a meszes és semleges talajokon. Savanyú talajokon a vas és alumínium jelent kémiai védelmet a P-kilúgzással szemben. Cooke szerint a sajtó túlhang-súlyozza a műtrágyák környezetkárosító szerepét, különösen a P esetén indokolat-lanul.

A kötöttebb talajú Rothamsted-i Park Grass gyepek kísérlet 6. táblázatban bemu-tatott tanulsága szerint ugyan a 110 év óta rendszeresen adott évi 33 kg/ha elemi P hatására a talajszelvény 38 cm mély-ségig feldúsult összes P-ban, de a 0,01 M CaCl_2 -oldható frakció (mely közeláll a talajoldat P-koncentrációjához) csupán a közvetlen altalajig jutott. A másik Rot-hamsted-i tartamkísérletben főleg gyö-kérnövényeket termesztettek (Barnfield Experiment) több mint egy évszázadon át. A feltalaj összes P-készletét a 7. tá-blázat tünteti fel. A táblázat adataiból arra következtethetünk, hogy még a szo-katlanul nagymennyiségű istállótrágya + műtrágya együttes adagolása nyomán sem nőtt érdemben a talaj összes P-kész-

lete a 0,5 m mélységet meghaladóan. Enyhe bemosódás azonban tapasztalható ebben a kezelésben.

A laza homokos vályog Woburn kísérletben ezzel szemben a 20 éven át évente adott istállótrágya (hasonló extrém adagokkal) a talajt 0,6 m mélységig gazdagította P és K elemekben. Az istállótrágyázás 150 kg P/ha/év mennyiségnek felelt meg és megduplázta a 0,5-0,6 m talajszelvény felvehető P-készletét. Ilyen mérvű istállótrágyázás, ill. P-terhelés szántóföldön ugyan elképzelhetetlen, de kertészetben nem kizárt.

Más termőhelyen (Wareham, savanyú homoktalaj) 15 éven át műtrágyázták 90 kg P/ha/év adaggal, különböző oldhatóságú P-formákat alkalmazva. A vízzoldható műtrágya-P 0,5 m mélységbe, az agyagos akkumulációs szintig jutott le. A bázikus salakok és a nyersfoszfát nem növelte a kilúgzást a kontrollhoz képest. Ilyen talajokon tehát felléphet a P-kilúgzás, amennyiben vízzoldható formában rendszeresen nagyobb adagokkal trágyázunk.

Műtrágyák és a talajok termékenységének összefüggése

Egyes vélemények szerint a műtrágyák veszélyeztetik a talajok termékenységét. A termékenységet alapvetően maga a termés jellemzi, nem pedig elvont ítéletek. Lássuk a Rothamsted-i kísérleteket. A Broadbalk kísérletben 130 éven át folyik rendszeres műtrágyázás. A többi kísérletekhez hasonlóan, a termések nem csökkennek. A 8. táblázat adatai tanúsítják, hogy a műtrágyázás nemhogy csökkenti a növények termését, hanem növeli.

A korábban említett homokos vályog Woburn kísérletben a talaj elsavanyodott és a kalászosok termése visszaesett, főként növényegészségügyi (gyökérgyökérkártevők) okokból. Meszezéssel és Mg-trá-

gyázással a termékenység helyreállt és a kalászosok termése tovább nőtt. A műtrágyázás nem felelős a termés-csökkenésért, amennyiben nem egyoldalúan alkalmazzuk e trágyákat, ill. esetleges savanyító hatásukat ellensúlyozzák. A N-túlادagolás is példa lehet az egyoldalú alkalmazásra, amikor megdőléshez vezethet a kalászosoknál, esetleg más elemek relatív hiányát indukálva okozhat depressziót a termésben.

Másrésről igazi egyensúlyt nehéz megteremteni és fenntartani a növénytáplálásban, hiszen az időjárást nem ismerjük előre. Utóbbi befolyásolja a növények elemfelvételt és a trágyahatásokat. Bizonyos fokig tudomásul kell vennünk, hogy a nagy termések N-túlادagolás nélkül nehezen elérhetők. A nagy termés tápanyagbőséget igényel a talajban. A N kimosódik, míg a PK-felesleg felhalmozódik. A P és K mérsékelt túlsúlya a brit talajokon azonban nem jelentett negatív befolyást sem a termésre sem a minőségre.

Előállhat termés-csökkenés, amennyiben nagy K-túlsúly jön létre Mg-szegény talajokon. A legelőgazdálkodásban ez a jelenség hypomagnesaemiát okozhat, az ismert fűtetánia az állatok hirtelen elhullását eredményezheti. A kiegyensúlyozott tápláltság különösen fontos e téren, mert a talaj - növény - állat tápláléklánc érzékeny. A mikroelem-hiány vagy -túlsúly jelensége szintén itt jelentkezhet igen károsan. Az egyoldalú műtrágyázás tehát a talaj termékenységét veszélyeztetheti, ill. a talajszennyezés egyik formáját öltheti.

Az újabbkori egyszerűsített növényi sorrendek és a monokultúrás termesztés terjedését a műtrágyák valóban elősegítették. A monokultúrás művelési rendszerekben gyakran csökken a talaj szervesanyag-tartalma, romolhat a talaj szerkezete és művelhetősége. Hasonlóképpen főleg a megnövelt N-ellátás lehetőséget nyújt a legelők jobb kihasználására, mely

7. táblázat

A rothamstedi Barnfield kísérlet összes-P tartalmának alakulása a talajszelvényben
100 évet meghaladó trágyázás után, mg/kg

Mélység, mm	Trágyázatlan kontroll	(A) 33 kg P/ha/év	(B) 35 t/ha/év istállótrágya	A+B
0 - 225	669	1206	1263	1877
225 - 300	453	506	600	753
300 - 375	425	475	498	592
375 - 450	412	400	428	474

8. táblázat

A búza (szem-) és a burgonya (gumó-) termésének alakulása 130 éves műtrágyázás
hatására a rothamstedi Broadbalk kísérletben, t/ha

Kezelések évente	1970		1971		1972	
	Búza	Burgonya	Búza	Burgonya	Búza	Burgonya
Kontroll	2,3	12,6	2,5	7,8	3,4	10,8
PK	2,5	19,1	2,6	9,6	4,2	16,2
PKN ₃	4,9	41,8	6,0	45,6	6,5	38,8
Istállótrágya	5,9	43,8	6,9	36,2	8,0	40,2
Istállótrágya+N ₂	5,6	49,1	4,9	49,4	6,9	41,4

Kezelések: lásd 5. táblázat

9. táblázat

A művelt és rendszeresen műtrágyázott talajok drenázs vizeinek,
valamint a környező tavaknak átlagos NP-tartalma,
mg/liter

Tavak megnevezése	Drenázs vizekben		Tavak vizében	
	NO ₃ -N	P	NO ₃ -N	P
Saxmundham	8	0,07	0,7	0,5
Woburn	22	0,05	2,0	0,01

megnövelt állatlétszámot jelent, esetenként 3 vagy több tehenet ha-onként. Az állati trágya elhelyezése ezeken a belterjes koncentrált állattartó telepeken nehézségbe ütközhet, a túlادagolás rontja a talaj szerkezetét, fizikai állapotát. A talaj károsodását azonban itt sem a műtrágya, hanem a taposás, a túlzott állatsűrűség vagy a nagy gépek okozzák.

A műtrágyák és a vizek szennyeződése közötti összefüggések

Az eutrofizációt azon anyagok okozzák, melyek elősegítik a vízi növények és mikroszervezetek növekedését, egy határon túl előidézve ezzel a vízminőség romlását. A vízi rendszerekben a minimum tényező a P és a N. Ásványi elemek hiányában azonban az élő vizek élettelenné válnának, nem nőne a vízi növényzet, halak, stb. A Sajtó szerint azonban a "természetes" eutrofizáció helyénvaló, míg a műtrágyából származó N és P természetellenes - jegyzi meg Cooke. Valójában a megelőző történelmi korok eutrofizációja nélkül nem fejlődhetek volna a vízi élő rendszerek, nem lennének ma talán szén- és gázmezőink sem.

Egy határon túl persze a vizek termékenységének növelése már nem-kíváncsú. Megjelenik az algavirágzás, elszaporodnak a bomló növényi maradványok, oxigénhiány léphet fel és halpusztulás jelentkezik. Vajon mennyiben okozza a műtrágya a vizek N- és P-terhelését? Nehéz elfogadni döntő szerepüket. A szerző munkatársaival három éven át végzett vizelmzéseket Saxmundham és Woburn melléki tavakban. A környező művelt területek jelentős N- és P-terhelést okoznak egész éven át. A vizek magas N- és P-koncentrációi ellenére (9. táblázat) algásodás nem fordult elő. A jelenséget feltehetően még nem

ismerjük eléggé, kommentálja adatait Cooke.

Az ivóvizek nitráttartalma közvetlen egészségügyi jelentőséggel bír. Mivel a N-trágyázással elkerülhetetlenül fellép bizonyos veszteség, amennyiben megfelelő terméseket kívánunk elérni, a N egy része a kutakban, folyók és források vizében fog megjelenni. Az ember és az állat egyaránt veszélyeztetett lehet. A FAO által javasolt 10 mg/l körüli $\text{NO}_3\text{-N}$ határkoncentráció egzakt bizonyítása azonban még nem történt meg, a felnőttekre nézve pedig a magasabb $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció káros volta vitatott jelenség.

A vizek terhelését, elszennyeződését okozó tápelemek forrása többféle lehet:

- kilúgzás a mezőgazdaságilag művelt talajokból;
- állatok és emberek által termelt szennyvizek;
- talaj, melyet a víz, vagy a szél szállít a vizekbe;
- levegőből történő nedves vagy száraz kiülepedés.

Ahhoz, hogy megfelelő terméseket kapjunk a jelenkori viszonyok között, 150-300 kg N/ha/év adagolása szükséges. A növények N-igényét részben a talaj, részben a trágya fedezi. A talaj azonban átereszt, a csapadéktöbblet eltávolítja a nitrát feleslegét különösen télen és kora tavasszal, amikor a növények felvétele korlátozott. A belterjesebben művelt angliai területeken 10-100 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmú drenázsvizekkel számolhatunk a jövőben is. Érdemben nem csökkenthető a $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációja 10 mg/l alá, hiszen a talaj szerves anyagai mineralizálódnak és a növényi maradványok lebomlása szintén nitrogént termel. Még ha beszüntetnénk is a N-trágyázást, a talajon átszivárgó vizek $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma összességében nem csökkenne 5 mg/l alá.

Egyes területeken a kilúgzási veszteség kisebb, hiszen a gépek a N feles-

legét egész évben hasznosítják. Télen és kora tavasszal bizonyos veszteség azonban itt is elkerülhetetlen, amikor a növekedés leáll, az elhalt gyökerek bomlása viszont folytatódhat (Ny-Európa enyhébb fagymentes körzeteiben). A kilúgzás nyáron is felléphet a legelőkön. A talaj és a növényzet az állati ürülékkel fellépő pontszerű terhelést, a helyileg jelentkező túladagolást nem képes ellensúlyozni, adszorbeálni.

Az átszivárgó vizek idővel a mélyebben elhelyezkedő vízkészleteket is veszélyeztethetik. Hertfordshire és Bedfordshire meszes kőzetei alatt a dél-angliai vizek 4–12 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ / l koncentrációval rendelkeznek. A $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalom szezonális változást nem mutat, egész évben állandó. Az ammónium-N viszont nem mozgékony, állati ürülékkel vagy felületi elfolyás, ill. erózió útján juthat közvetlenül a felszíni vizekbe.

Amint arra már utalás történt, a vízoldható P szintén bemosódhat mintegy 0,5 m-re az altalajba bizonyos körülmények között. A homokos vályog podzolon (Woburn), valamint az állandó gyepek alatt (Park Grass) az erős szerves trágya-terhelés, ill. műtrágyázás hatására az altalaj is gazdagodhat P-ban. Semmilyen más adat nem bizonyítja azonban, hogy a műtrágya-P ilyen módon közvetlenül a talajvizekbe juthat. Vizsgálatok szerint a vizek P-tartalma nem függött össze a talajok P-trágyázásával. Amennyiben az alternatív gazdálkodással a szerves trágyázás, az évelő pillangósok termesztése, valamint a gyepváltó gazdálkodás terjedne, nem csökkenne valószínűleg a NO_3 kilúgzás, a P-terhelés kilúgzással pedig akár nőhetne is.

A hatalmas állattartó telepek elkerülhetetlenül hozzájárulnak a vizek szennyezéséhez. A koncentráltan jelentkező trágyát nehéz egyenletesen kijuttatni, felléphet a kilúgzáson túl a felszíni elfolyás, főleg a fagyott talajokon. A N és a P közvetlenül is bejuthat a folyók vizébe a

trágyaszarvasokból. Az itatók és éjszakai pihenők környékén a trágyaterhelés ugrásszerűen megnőhet, a szennyezés pontszerű jelleget ölt. A felszíni erózió valamilyen mértékben szinte egész Angliát érinti, a tápanyagokban gazdag felszíni talaj ily módon a folyók, tavak és felszíni víztárolók vizébe jut. A P nagyobb része a talajjal erózió útján kerül a vizekbe. A szélerózió különösen a laza homok és tőzeg talajokon léphet fel. Száraz, szeles tavaszon e jelenség azonban (a növényvel nem fedett táblákon) mindenütt a felszíni tápanyaggazdag talajréteget veszélyezteti.

Amint láttuk, a talaj szerves anyagával, valamint a szerves trágyákkal összefüggő tápelemveszteségek gyakran meghaladják a műtrágyából származókat. A mineralizáció nitrogént termel és tavasszal a kilúgzás ezt a N-fölösleget ki-mo-shatja. A szervestrágya-P mozgékonyabb, mint a műtrágya-P, mert nem kötődik úgy a talaj ásványi részéhez. A szerves trágyák tápelemkészlete nem követi szorosan a növényi igényeket, a felesleg szennyezésként jelentkezhet.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a környezetkímélőbb trágyázási gyakorlat nagyobb gondosságot, nagyobb ráforítást igényel majd és szükségszerűen a fogyasztónak kell a többletköltségeket vállalnia. A műtrágyák kétségtelenül hozzájárulhatnak (főleg a szakszerűtlen alkalmazáskor) a környezetterheléshez és a vizek elszennyeződéséhez, de nem tekinthetők Cooke véleménye szerint annak alapvető okozóinak, abban nem játszanak meghatározó szerepet.

Irodalom

- COOKE, G. W., 1971. Fertilizers and society. Proceedings of the Fertiliser Society. No. 121. 1-48.
COOKE, G. W., 1973. The possibilities of polluting soils by fertilisers and the way

- they are used. In: Fertilisation et pollution des sols. 561-583. Gembloux, Belgium.
- COOKE, G. W., 1976. A review of the effects of agriculture on the chemical composition and quality of surface and underground waters. In: Agriculture and Water Quality. MAFF Bulletin. **32**. 5-57. London.
- COOKE, G. W., 1981. The fate of fertilizers. In: The Chemistry of Soil Processes. (Eds.: GREENLAND, D. J. & HAYES, M. H. B.). 563-592. J. Wiley & Sons, Ltd.
- COOKE, G. W., 1984. Constraints on crop production - opportunities for chemical industry. Chemistry and Industry, 730-737.

Érkezett: 1993. február 2.

KÁDÁR IMRE
MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézete, Budapest